科学読本

音とオーディオ(6)

平田能睦

5章（その2）：音の器

リスニング・ルームの響きは少なめでよいのはなぜか

コンサート・ホールで席を変えると，前と後では響きの量が違って聴こえます．前の席に比べて響きが多い後方の席は音が柔らかいと表現する人もいます．実際にコンサート・ホールで演奏を聴くときは音響以外の要素も関係するので，どの席が好ましいかは人それぞれです．しかし，リスニング・ルームで再生することを目的としてホールで録音する場合は，純粋に音響的な観点から収音マイクの位置が決められます．

コンサート・ホールの響きの量のちょうどよい席で録音した音は，リスニング・ルームで再生すると柔らか過ぎ，すなわち響き過多になることから，録音技術者はあらかじめそのことを考慮に入れて，音を硬めに録音します．パスタにたとえると，アルデンテより固めです．

では，こうして録音された音を再生するとリスニング・ルームにおいてなぜちょうどよくなるのか調べてみましょう．

音の明瞭度（Definition）は，響きの量が多いほど低下します．室内のある場所での明瞭度を客観的に表わす量として用いるD値は，音源からインパルスを発したときに受音点に到達する音の全エネルギー(マイク出力の2乗積分値）に対する，直接音から0.05秒までの初期到達音のエネルギーの割合で与えられます．

響きのない無響室は場所によらずD値は1ですが，残響室は0.1以下になります．残響室では話はほとんど聴き取れません．しかし，耳元で話せば直接音の割合が増し，了解可能となります．

コンサート・ホールはどうでしょうか．残響時間が2秒，容積25,000 m³の大ホールの客席でD値がどれくらいになるか計算してみると，ステージ上の音源から10 mの前の席では0.5，30 m離れた後方の席では0.3，その間の響きのほどよい席は0.4となります．D値0.5は硬い音，0.3は柔らかい音というのが主観評価です．

響きが重要なクラシック音楽の録音について調査したデータによれば，ワン・ポイント収音において収音マイク位置のD値が0.4以下であると再生音は響き過ぎ，0.65以上では響き不足と判断されています（NHK技術研究所22，6，1970）．これはリスニング・ルームで再生することによりD値がおよそ0.1減少することを意味します．

そこでこんどは，残響の付いたインパルス音をリスニング・ルームのスピーカで再生したときの再生音のD値を計算してみます．

コンサート・ホールの残響時間と収音マイクの位置を変えたときのいろいろなD値のインパルス音を録音ソースとして数式で与え，これをリスニング・ルームで再生するものとしてスピーカから約3 mのところの再生音のD値を計算し，再生音のD値がリスニング・ルームの容積と残響時間でどのように変わるか調べます．

録音ソースに対する再生音のD値の減少分をΔD，リスニング・ルームの平均吸音率を$\bar{\alpha}$として，ΔDの許容範囲を0.05～0.15，リスニング・ルームが居室としてライブ過ぎず，またデッド過ぎないための条件として，$\bar{\alpha}$を0.25～0.40とします．

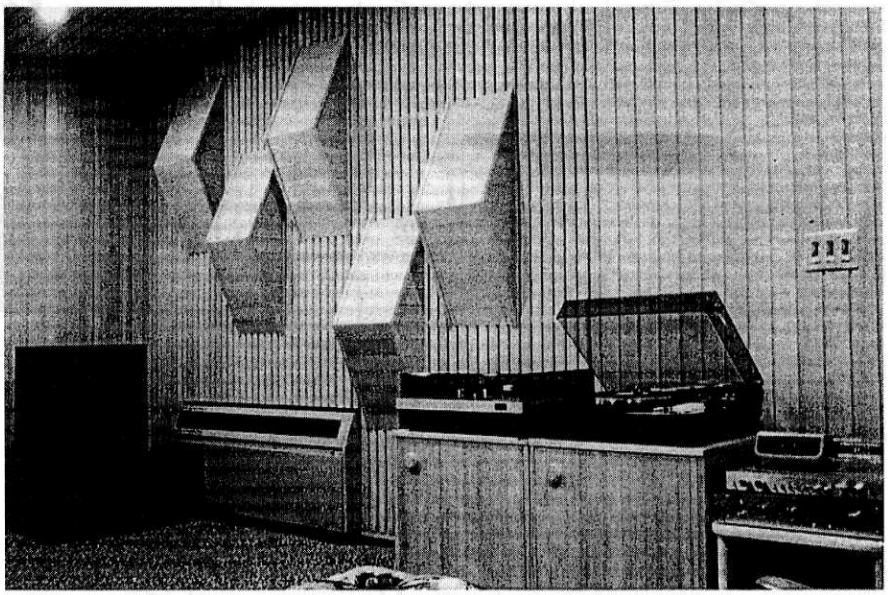
こうして，これらの条件を満たす残響時間と室容積の関係をグラフに示すと，たいへん興味深い結果が得られます．

個人の家のリスニング・ルームとして想定した容積30～60 m³の室の残響時間は0.2～0.35秒，業務用のメーカーのリスニング・ルームとして容積60～150 m³の室の残響時間は0.25～0.4秒が，理論的に出てくる望ましい残響時間の範囲になります．録音技術者が再生音を聴きながら音作りをする作業場，つまりモニタ・ルームを調べてみると，そのほとんどが上記の範囲にあります．

録音ソースをチェックしやすいという理由からモニタ・ルームの残響時間は短めに設定される傾向があり

ますが，再生音をモニタする室の残響時間が計算上から望ましいとされる範囲に位置していることは注目に値します．

リスニング・ルームの残響時間として，以前IECの出した推奨値0.4〜0.6秒はどのような根拠によるものかわかりませんが，少し長過ぎます．仮に響きのよいホールをリスニング・ルームとして使うなら，残響の付いていない録音ソースを再生するのが好ましいことになります．生演奏を聴く場所ではなく，残響を付加した録音ソースを再生する場所として，リスニング・ルームの響きは少なめでよいのです．



●木造のリスニング・ルーム．壁に音を乱反射させる拡散体が取りつけられている

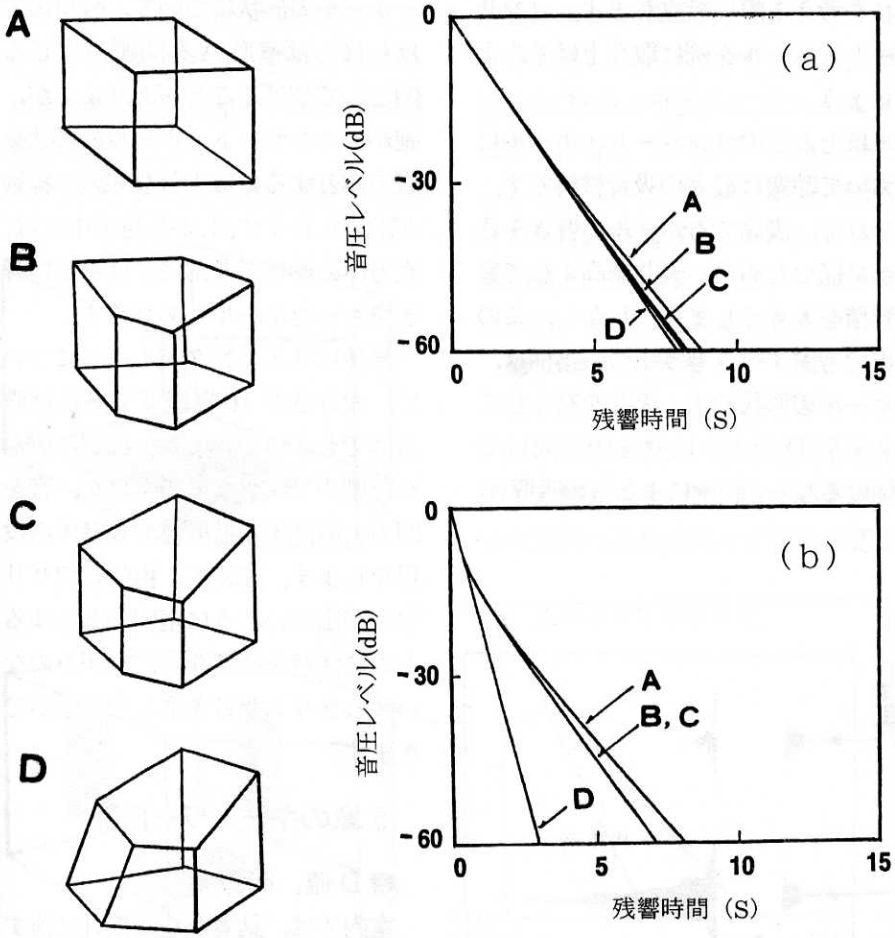
音響室を不整形にするのはなぜか

リスニング・ルームや録音スタジオ，残響室など音の響きを大切にする室に入ると，天井は傾斜し壁は凹凸になっています．すべてそのようにしなければならないというわけではありませんが，音響室を不整形にするのはなぜでしょうか．それによってどのような効果があるのでしょうか．もしも部屋を不整形にしないですむなら，もっと気軽な気持ちでリスニング・ルームを造ってみたいと思うかも知れません．

音の響きのない無響室に入ると，独特な圧迫感があります．その異様な静けさのために幼い子なら泣き出すでしょう．これとは対照的に，残響室に入ると，おもしろがって声を出すに違いありません．響きがあるとないでは大違いです．響きのすばらしいコンサート・ホールで演奏を聴くと満ち足りた気持ちになりますが，ホールの響きが貧弱なら，演奏がよくても聴衆は欲求不満になります．

リスニング・ルームと残響室とホールでは響きの量も目的も異なりますが，残響室を例にとって，響きの減衰の仕方を示す残響曲線に室形がどのように影響するか，調べてみましょう．

整形から不整形までの4つの室形を考えます．室形Aは直方体，室形Bは天井と床は平行，壁は床に対して垂直で平行面はなし，室形Cは室形Bの天井を傾斜したもの，室形Dは室形Cの壁を少なくとも1つ傾けたものとします．



〈第5・11図〉室形と残響特性曲線．(a)は空室，(b)は床に吸音材を敷いたときの特性で，計算で求めた理論曲線（JSV 84(4)，1982）

声が耳に入ります．これらの反射音のうち，初期のものは直接音を補強する働きがあり，0.05秒以上遅れたものは反響音（エコー）として聴こえます．

一般に，反響音が増すと話は聴きとりにくくなり，明瞭度は低下します．D値（Definition）は音源からインパルスを発したときに，受音点で観測したインパルス応答音の全パワーに対する直接音を含む0.05秒までの音のパワーの割合です．インパルス応答の波形は複雑ですが，これを直接音と指数関数的に減衰する反射音で表わすと，室の残響時間，室の容積，音源の位置を与えればD値を計算で求めることができます．

●再生音のD値

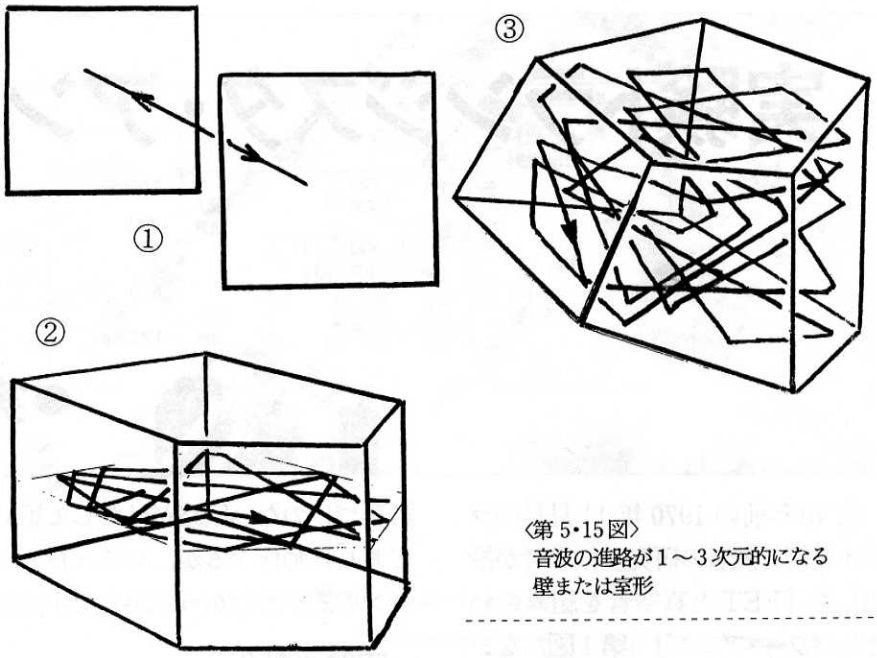
コンサート・ホールで収音したインパルス応答音をリスニング・ルームで再生すると，ホールの応答とリスニング・ルームの応答が重なり込んだものになります．数学ではこのような重なり込む量を「たたみ込み」積分で表わします．

2つのインパルス応答波形のたたみ込みはコンピュータを使えばあっという間に求まりますが，コンサート・ホールでの収音条件とリスニング・ルームの再生条件がどのように関係し合うかという説明はできません．理論的に説明するためには数式で表わすことが必要です．

やや難しい計算になりますが，再生音のD値を理論的に求めることにより，好ましい収音・再生の条件として出てきた結果は，録音技術者たちが経験に基づいてよしとしている結果と一致します．オーディオは科学的，ということができます．

●トンネルの残響

長いトンネルも，道路下をくぐる短いトンネルも，一歩中に入ると音がよく響きます．トンネルの音場は2次元的な波動の音波で響きが聴こえます．トンネルの長さ方向に伝わる音はすぐに消えてしまいますが，トンネルの壁に向う音はいつまでも反射を繰り返すので，すぐには消えません．



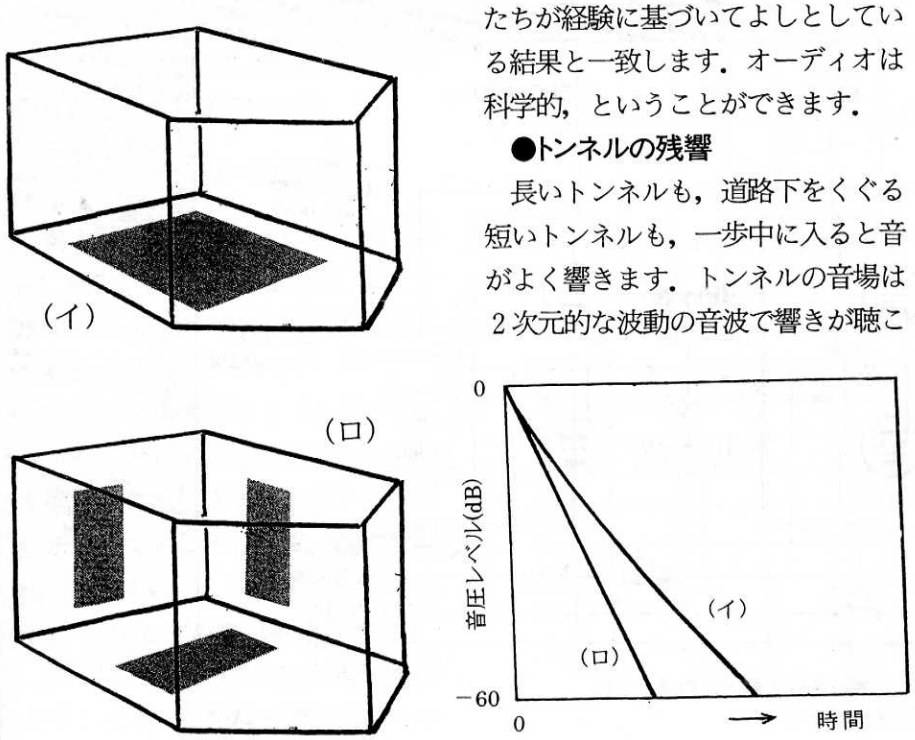
〈第5・15図〉
音波の進路が1～3次元的になる壁または室形

●室形タイプB（図5.16）

床に垂直な壁で囲まれた室形の残響室は，床一面に吸音材を敷いても，壁で反射を繰り返す残響によって，吸音材の効果，つまり吸音力は真の値よりも見かけ上小さな値になってしまいます．2次元の波動も考慮に入れて残響曲線を計算すると，真の吸音力を測定できる吸音材の配置が求まります．

垂直な壁で構成された典型的な室形タイプBの場合，壁と床に約2対1の面積比で材料を分割して配置すればよいでしょう．

この理論的な結果に対して，BBCの研究所からつぎのようなコメントが寄せられました：「当研究所の残響室はBのタイプで，長年にわたりカーペットなどは壁と床に面積比3対1に分割して配置し，吸音率の測定を行なっている．……その経緯は不明だが，この比率は示された理論値に近いものである」（JSV 89(3) 1983）．



〈第5・16図〉吸音材の配置により残響曲線が変る室形（第5・11図B）